

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

⑯ ⑯ Offenlegungsschrift

⑯ DE 195 31 861 A 1

⑯ Int. Cl. 6:

H 01 F 41/02

H 01 F 41/18

H 01 F 13/00

H 02 K 15/03

⑯ ⑯ Aktenzeichen: 195 31 861.7

⑯ ⑯ Anmeldetag: 30. 8. 95

⑯ ⑯ Offenlegungstag: 6. 3. 97

⑯ ⑯ Anmelder:

Danfoss A/S, Nordborg, DK

⑯ ⑯ Vertreter:

U. Knoblauch und Kollegen, 60320 Frankfurt

⑯ ⑯ Erfinder:

Kjeldsteen, Per, Nordborg, DK; Jepsen, Aksel
BaagØ, Augustenborg, DK

⑯ ⑯ Entgegenhaltungen:

DE 34 07 253 C2

GB 13 05 632

US 50 15 536

US 48 73 504

US 48 10 309

EP 04 06 004 A2

EP 03 39 787 A2

EP 01 44 851 A2

EP 01 25 752 A2

JP 62-2 52 111 A

JP 62-1 34 912 A

JP 04-2 52 009 A

JP 04-1 80 204 A

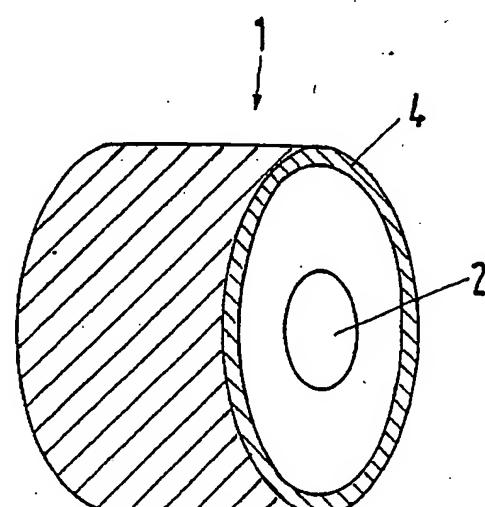
JP 83-36 508 A

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ ⑯ Verfahren zum Herstellen von magnetischen Polen auf einem Grundkörper und Rotor einer elektrischen Maschine

⑯ ⑯ Es wird ein Verfahren zum Herstellen von magnetischen Polen auf einem Grundkörper (1) angegeben. Dieses Verfahren soll verbessert werden können.

Hierzu wird das Permanentmagnet-Material durch einen thermischen Prozeß auf den Grundkörper (1) aufgespritzt und danach magnetisiert.



DE 195 31 861 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01.97 602 070/159

8/27

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von magnetischen Polen auf einem Grundkörper und ferner einen Rotor einer elektrischen Maschine, der Pole aufweist, die durch Permanentmagnete gebildet sind.

Als Beispiel für die Erläuterung der Erfindung soll im folgenden ein Rotor einer elektrischen Maschine dienen. Das Verfahren zum Herstellen von magnetischen Polen läßt sich aber auch bei anderen Gegenständen anwenden, beispielsweise bei Läufern oder Statoren von Linearmotoren und bei anderen Gegenständen und Vorrichtungen, die Permanentmagnete benötigen.

Bei elektrischen Maschinen werden die magnetischen Pole auf dem Rotor in einigen Fällen durch Permanentmagnete gebildet. Derartige Ausbildungen sind sowohl für Synchronmaschinen als auch für Gleichstrommaschinen bekannt. Die Magnete sind dann beispielsweise in Form von bogenförmigen Formstücken ausgeführt, die auf dem Rotor montiert sind. Die Befestigung erfolgt dann mit Hilfe von Klebstoff oder anderen mechanischen Verbindungen. Eine Alternative hierzu sind Permanentmagnete, die als Stäbe im Rotor eingekapselt sind. Man spricht dann von eingebetteten ("buried" oder "embedded") Magneten. Die Magnetisierung der Permanentmagnete kann vor oder nach der Montage erfolgen. Auf jeden Fall sind eine Reihe von Arbeitsvorgängen erforderlich, um den Rotor fertigzustellen.

Schwerer wiegt allerdings das Problem, daß die Permanentmagnete auf dem Rotor relativ hohen Zentrifugalkräften ausgesetzt sind, die dementsprechend große Anforderungen an die Befestigung zwischen Rotor und Permanentmagneten stellen. Diese Befestigung wird darüber hinaus durch Wärme belastet, die sich im Betrieb der elektrischen Maschine zwangsläufig ergibt. Viele Klebstoffe vermindern oder verlieren bei erhöhten Temperaturen ihre Haltekraft. Die Permanentmagnete sind also bis heute ein schwacher Punkt von elektrischen Maschinen geblieben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Herstellung von magnetischen Polen auf einem Grundkörper zu verbessern.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der einangs genannten Art dadurch gelöst, daß ein Permanentmagnet-Material durch einen thermischen Prozeß auf den Grundkörper aufgespritzt und danach magnetisiert wird.

Durch das thermische Aufspritzen entsteht auf dem Grundkörper eine Schicht aus dem Permanentmagnet-Material, die sehr fest mit dem Grundkörper verbunden ist und außerdem in sich einen sehr stabilen Zusammenhalt hat. Dadurch wird eine hohe mechanische Festigkeit erreicht. Der Grundkörper und die magnetischen Pole hängen sehr stabil zusammen. Der Grundkörper ist daher gut belastbar. Durch das Aufspritzen der Permanentmagnet-Schicht läßt sich die Dicke dieser Schicht recht gut steuern. Die Dicke der Schicht bestimmt aber unter anderem auch die Stärke der später erzeugten Permanentmagnete.

Vorzugsweise wird das Permanentmagnet-Material in Form eines Pulvers aufgespritzt. Beim thermischen Spritzen erfolgt dann eine Verbindung der einzelnen Pulverkörner mit der Oberfläche des Grundkörpers einerseits, aber andererseits auch untereinander. Dadurch ergibt sich ein sehr stabiler Verbund des Pulvers auf der Oberfläche des Grundkörpers. Darüber hinaus läßt sich ein derartiges Pulver leicht handhaben, so daß ein Schichtaufbau mit relativ geringem Aufwand möglich

Vorteilhafterweise weist das Pulver eine Korngröße im Bereich von 0,1 bis 200 µm, insbesondere von 1 bis 10 µm, auf. Bei einer derartigen Korngröße läßt sich ein sehr stabiler und gut zusammenhängender Aufbau der Schicht des Permanentmagnet-Materials beobachten.

Als Permanentmagnet-Material wird vorzugsweise NdFeB verwendet. Dieses Material weist sehr gute magnetische Eigenschaften auf, z. B. eine große Energie dichte. Die Verwendung von NdFeB als Rotor-Magnet-Material ist an sich bekannt. Es wurde aber bislang in Schalen- oder Stabform verwendet, wobei diese Formkörper durch sintern, Wärmeprässung oder Polymerverbindungen vorgegeben waren. Man hat nun festgestellt, daß sich dieses Material sehr gut zum Aufspritzen in Pulverform eignet, wenn man hierzu ein thermisches Verfahren verwendet, also gleichzeitig mit dem Aufspritzen Wärme zuführt.

Mit Vorteil wird der Grundkörper nach dem Aufspritzen des Permanentmagnet-Materials einer Wärmebehandlung unterzogen. Beim thermischen Spritzen kann nämlich eine Strukturänderung des Permanentmagnet-Materials erfolgen. Dies kann beispielsweise dann kritisch werden, wenn das Ausgangspulver kristallisch ist, nachdem Aufspritzen aber eine amorphe Struktur aufweist. Wenn beispielsweise NdFeB verwendet wird, weisen die Bestandteile Fe und Nd im Ausgangspulver eine intermetallische Verbindung miteinander auf, die sich nach dem thermischen Aufspritzen lösen kann. Diese Strukturänderung bewirkt unter Umständen, daß das Material nicht mehr unmittelbar magnetisiert werden kann. Die Wärmebehandlung, die beispielsweise bei NdFeB in einem Temperaturbereich zwischen 800° und 900° erfolgen kann, stellt in hohem Maße die kristalline Struktur der aufgespritzten Schicht wieder her. Dadurch wird die nachfolgende Magnetisierung des Grundkörpers möglich.

Vorzugsweise erfolgt die Wärmebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre. Man verhindert hierdurch, daß die aufgespritzte Schicht bei der Wärmebehandlung oxidiert.

Mit Vorteil ist der thermische Prozeß als Hochgeschwindigkeitsspritzen oder Plasmaspritzen ausgebildet. Mit dem Plasmaspritzen erreicht man sehr hohe Temperaturen, denen das Pulver allerdings nur sehr kurzzeitig ausgesetzt werden muß. Die Körner des Pulvers schmelzen dann an ihrer Oberfläche. Hierdurch ergibt sich ein sehr guter Zusammenhalt der Schicht in sich und mit dem Grundkörper, ohne daß die Struktur des verwendeten Permanentmagnet-Materials über das notwendige Maß hinaus gestört wird. Das Plasmaspritzen derartiger Materialien ist aus EP 0 339 767 A2 bekannt. Aus dieser Schrift geht auch hervor, wie man ein derartiges Verfahren durchführt.

Insbesondere ist es von Vorteil, wenn das Plasmaspritzen bei einer Temperatur im Bereich von 50000 bis 15000°C erfolgt. Hierbei konnte man gute Ergebnisse beobachten.

Vorteilhafterweise wird die Oberfläche des Grundkörpers vor dem Ausspritzen aufgerautet. Dies erhöht die Festigkeit der Verbindung zwischen dem aufgespritzten Permanentmagnet-Material und dem Grundkörper. Nachdem die erste Schicht des Permanentmagnet-Materials auf den Grundkörper aufgebracht ist, ist die Oberfläche des Grundkörpers ohnehin rauh, so daß nachfolgende Schichten ebenfalls gut festgehalten werden.

In einer ganz besonders bevorzugten Ausgestaltung

ist vorgesehen, daß die Oberfläche des Permanentmagnet-Materials nach dem Aufspritzen geglättet wird, insbesondere durch Abschleifen. Nach dem Aufspritzen weist die Oberfläche des Grundkörpers, genauer gesagt, die Oberfläche des Permanentmagnet-Materials, eine rauhe Oberfläche auf, die mit "Tälern" und "Gipfeln" versehen ist. Hierbei besteht wahrscheinlich die Gefahr, das sich die "Elementarmagnete" beim Magnetisieren so ausrichten, daß sich ihre Wirkung gegenseitig fast aufhebt. In diesem Fall entsteht nur ein sehr schwacher Magnetismus. Wenn man hingegen die Oberfläche einnebnet, richten sich alle "Elementarmagnete" in Richtung des angelegten Magnetfeldes aus und verharren in dieser Ausrichtung, so daß die gewünschte starke Magnetisierung erzeugt wird. (Der Begriff der "Elementarmagnete" wird hier aus Gründen der anschaulichkeit verwendet.)

Vorzugsweise ist der Grundkörper aus Metall, insbesondere Weicheisen, gebildet. Neben den bekanntesten guten magnetischen Eigenschaften eines derartigen Materials hat die Verwendung eines Metalls, insbesondere des Weicheisens, den Vorteil, daß die aufgespritzte Schicht aus dem Permanentmagnet-Material gut darauf festhält, weil sie aufgrund der erhöhten Temperatur praktisch mit dem Grundkörper verschweißt wird.

Vorteilhafterweise ist der Grundkörper als Rotor einer elektrischen Maschine ausgebildet. Dies ist eines der wichtigsten Anwendungsgebiete des Herstellungsverfahrens.

Mit Vorteil wird der Rotor während des Ausspritzens gedreht. Beim Aufspritzen wird der Rotor also einer gleichmäßig rotierenden Bewegung unterworfen. Auch wenn man das Permanentmagnet-Material nur von einer Position aus zuführt, läßt sich hierdurch eine relativ gleichmäßige und homogene Schicht ausbilden, in der später die Permanentmagnete erzeugt werden. Diese Schicht ist aus vielen Teilschichten ausgebildet, die sozusagen um den Rotor herum gewickelt sind. Die Dicke der Schicht läßt sich relativ einfach dadurch einstellen, daß die Zahl der Umdrehungen des Rotors und/oder die Rotationsgeschwindigkeit des Rotors verändert wird. Kurz gesagt, verändert man hierbei die Spritzzeit. Eine typische Schichtdicke nach dem Aufspritzen liegt in der Größenordnung von 1 mm.

Bevorzugterweise wird das Permanentmagnet-Material nach dem Aufspritzen mit einer Schutzschicht versehen. Eine derartige Schutzschicht schützt das Permanentmagnet-Material beispielsweise vor Oxidation.

Die Aufgabe wird bei einem Rotor einer elektrischen Maschine dadurch gelöst, daß die Permanentmagnete in einer aufgespritzten Schicht aus Permanentmagnet-Material ausgebildet sind. Eine derartige Schicht hält, wie dies oben im Zusammenhang mit dem Herstellungsverfahren erläutert worden ist, sehr fest auf dem Rotor und bildet in sich auch einen relativ festen und damit haltbaren Zusammenhang, so daß der Rotor relativ gut belastbar ist.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Hierin zeigen:

Fig. 1 einen Grundkörper als Rotor,

Fig. 2 den Rotor, der mit einer Schicht aus Permanentmagnet-Material versehen ist,

Fig. 3 den Rotor in Draufsicht,

Fig. 4 den Rotor im Längsschnitt,

Fig. 5 eine Elektronenmikroskop-Aufnahme von NdFeB im Pulverzustand und

Fig. 6 eine Elektronenmikroskop-Aufnahme von

NdFeB nach dem Aufspritzen.

Fig. 1 zeigt einen Rotor 1 einer elektrischen Maschine im Rohzustand. Der Rotor 1 ist entweder als massiver Körper aus Weicheisen ausgebildet, oder er besteht aus aufeinander gestapelten Blechen, zwischen denen Isolierungen vorgesehen sind, um die Ausbildung von Wirbelströmen zu vermeiden. Die Ausbildung des Rotors 1 als Grundkörper ist aber für die folgende Betrachtung ohne Belang. Der Rotor 1 weist eine zentrische Bohrung 2 auf, die später zur Aufnahme einer Rotorwelle dient.

Der Rotor 1 weist eine Umfangsfläche 3 auf, die beispielsweise durch Sandstrahlen oder Anschleifen aufgerauht worden ist. Auf diese Umfangsfläche 3 wird, wie dies aus Fig. 2 ersichtlich ist, eine Schicht 4 aus einem Permanentmagnet-Material aufgetragen, im vorliegenden Fall NdFeB. Dieses Permanentmagnet-Material wird wegen seiner guten magnetischen Eigenschaften, insbesondere seiner großen Energiedichte, bevorzugt. Es lassen sich aber auch andere Materialien verwenden, beispielsweise Samarium-Kobalt, Ferrite oder seltene Erden.

Die Schicht 4 kann mit einer weiteren Schutzschicht 5 versehen sein, um eine Oxidation zu vermeiden.

Der Rotor wird nun folgendermaßen hergestellt. 25 NdFeB-Pulver, das in Vergrößerung durch ein Elektronenmikroskop in Fig. 5 dargestellt ist, wird durch Plasmaspritzten auf die Oberfläche 3 des Rotors 1 aufgetragen. Plasmaspritzten ist an sich bekannt und gehört zu der Kategorie thermisches Spritzen, bei der das Pulver mit einer hohen Temperatur auf die Oberfläche 3 des Rotors 1 aufgetragen werden kann. Zum Durchführen des Plasmaspritzens wird das NdFeB-Pulver in einem Plasmaspritzapparat in ein Plasma mit einer Temperatur im typischen Bereich von 50000 bis 15000°C erhitzt, wodurch das Pulvermaterial an seiner Oberfläche schmilzt. Das Pulver wird dann auf den Rotor 1 aufgespritzt, der während des Aufspritzens gleichmäßig rotiert, damit die Schicht gleichmäßig aufgespritzt wird. Fig. 2 zeigt den Rotor 1 nach dem Aufspritzen. Die 30 NdFeB-Schicht 4 ist schraffiert dargestellt.

Die Dicke der Schicht 4 kann auf einfache Weise dadurch verändert werden, daß die Spritzzeit verlängert oder verkürzt wird. Beispielsweise kann man den Rotor 1 schneller oder langsamer drehen oder eine größere 35 Anzahl von Umdrehungen durchführen lassen.

Die typische Dicke der Schicht 4 nach dem Aufspritzen ist etwa 1 mm. Sie kann aber auch in einem Bereich von wenigen μm bis mehreren mm variiert werden.

Es hat sich herausgestellt, daß durch das Plasmaspritzen bei gleicher magnetischer Leistung des Rotors weniger NdFeB-Material aufgetragen werden muß, als dies mit vorgeformten Teilen der Fall wäre. Möglicherweise hängt das damit zusammen, daß die Dichte des Permanentmagnet-Materials jetzt sehr viel präziser gesteuert werden kann. Wahrscheinlich werden aber auch Luftspalte zwischen dem Rotor und der Schicht vermieden.

Das NdFeB-Pulver kann eine Korngröße im Bereich von $0,1 \mu\text{m}$ bis $200 \mu\text{m}$ haben. Vorzugsweise wird jedoch eine Korngröße im Bereich von $1 \mu\text{m}$ bis $10 \mu\text{m}$ verwendet.

Wegen der hohen Temperatur, die beim Plasmaspritzen aufgebracht wird, werden die einzelnen Partikel oder Körner des Pulvers beim Spritzen zum Teil mit der Oberfläche 3 des Rotors und zum Teil mit anderen Partikeln verschweißt. Diese Verschweißung ergibt einen sehr guten Zusammenhalt des Pulvers in sich und des Pulvers mit der Oberfläche 3 des Rotors. Infolgedessen

kann der Rotor 1 auch relativ hohen Drehzahlen ausgesetzt werden, wobei die Schicht 4 entsprechend großen Zentrifugalkräften ausgesetzt wird.

Allerdings ergibt sich beim Plasmaspritzen des NdFeB-Materials eine Strukturänderung. Das Ausgangsmaterial ist kristallisch oder kristallin. Nach dem Aufspritzen läßt sich aber eine amorphe Struktur beobachten. Im Ausgangspulver haben die Bestandteile Fe und Nd eine intermetallische Verbindung miteinander, die nach dem Plasmaspritzen vielfach gelöst ist. Dies ist beispielsweise in Fig. 6 erkennbar. Diese Strukturänderung von kristallisch zu amorph hat zur Folge, daß das Material nicht mehr unmittelbar magnetisiert werden kann. Um die Kristall-Struktur des aufgespritzten Materials wieder herzustellen, wird der Rotor 1 einer Wärmebehandlung mit dem aufgespritzten Material bei einer Temperatur um Bereich von 8000 bis 900°C, beispielsweise 850°C, ausgesetzt. Man erreicht dadurch, daß sich wieder die Kristallstruktur des Ausgangsmaterials einstellt. Eine nachfolgende Magnetisierung des Rotors ist dann möglich.

Nach dem Plasmaspritzen weist die Oberfläche der Schicht 4 eine relativ grobe Rauigkeit auf. Wenn eine derartige Oberfläche magnetisiert wird, ergibt sich vielfach nur ein schwacher Magnetismus. Dies wird darauf zurückgeführt, daß die "Elementarmagnete" sich so orientieren können, daß sich ihre Wirkung gegenseitig fast aufhebt. Um diesen Effekt zu vermeiden, wird daher durch Abschleifen einer dünnen Schicht in der Größenordnung von etwa 0,1 mm oder durch Polieren die Oberfläche der Schicht 4 geglättet.

Sowohl das Erwärmen als auch das Glätten erfolgt vorzugsweise in einer Atmosphäre, die eine Oxidation verhindert. Insbesondere bei der Verwendung von NdFeB ist ansonsten die Gefahr einer Oxidbildung relativ hoch.

Die Schutzschicht 5 kann nach dem Glätten aufgebracht werden.

Der Rotor ist dann für die Magnetisierung bereit und kann mit der gewünschten Anzahl von Polen versehen werden. Beispielsweise kann die Magnetisierung des Rotors mit einer magnetischen Feldstärke von 3200 kA/m erfolgen. Die magnetische Feldstärke kann aber je nach Bedarf variiert werden.

Selbstverständlich kann die Schutzschicht 5 auch nach dem Magnetisieren aufgebracht werden.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise kann man mehrere Vorteile erzielen. Erstens erreicht man ein relativ einfaches Herstellungsverfahren mit wenigen Arbeitsgängen. Zweitens wird ein robuster Rotor geschaffen, da im Rotor weniger Teile vorhanden sind und die Magnete eine sehr zuverlässige mechanische Befestigung mit dem Grundkörper des Rotors aufweisen. Drittens kann man durch eine Variation der Spritzzeit und des Magnetisierungsstromes relativ schnell verschiedene Rotoren den erforderlichen Spezifikationen anpassen, also einzelne Rotoren maßschneidern. Schließlich kann man im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren eine Ersparnis der Menge des Permanentmagnet-Materials erzielen.

Wie eingangs ausgeführt, ist das Verfahren nicht auf die Herstellung von Rotoren für elektrische Maschinen beschränkt. Selbstverständlich kann man auch Läufer oder Statoren von Linearmotoren erzeugen. Es können Sensoren mit maßgeschneiderten Magnetpolen hergestellt werden. Auch die Herstellung von Ventilen oder anderen Betätigungsgeräten mit Permanentmagneten ist auf diese Art und Weise möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von magnetischen Polen auf einem Grundkörper, dadurch gekennzeichnet, daß ein Permanentmagnet-Material durch einen thermischen Prozeß auf den Grundkörper aufgespritzt und danach magnetisiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Permanentmagnet-Material in Form eines Pulvers aufgespritzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Pulver eine Korngröße im Bereich von 0,1 bis 200 µm, insbesondere von 1 bis 10 µm, aufweist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Permanentmagnet-Material NdFeB verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Grundkörper nach dem Aufspritzen des Permanentmagnet-Materials einer Wärmebehandlung unterzogen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmebehandlung in einer nicht oxidierenden Atmosphäre erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der thermische Prozeß als Hochgeschwindigkeitsspritzen oder Plasmaspritzen ausgebildet ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasmaspritzen bei einer Temperatur im Bereich von 50000 bis 15000°C erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Grundkörpers vor dem Ausspritzen aufgerauht wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Permanentmagnet-Materials nach dem Aufspritzen geglättet wird, insbesondere durch Abschleifen.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Grundkörper aus Metall, insbesondere Weicheisen, gebildet ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Grundkörper als Rotor einer elektrischen Maschine ausgebildet ist.
13. Verfahren nach Anspruch 12, daß der Rotor während des Ausspritzens gedreht wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Permanentmagnet-Material nach dem Aufspritzen mit einer Schutzschicht versehen wird.
15. Rotor einer elektrischen Maschine, der Pole aufweist, die durch Permanentmagnete gebildet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete in einer aufgespritzten Schicht (4) aus Permanentmagnet-Material ausgebildet sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

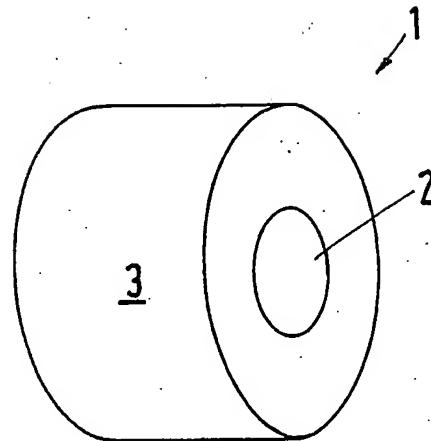


Fig. 2

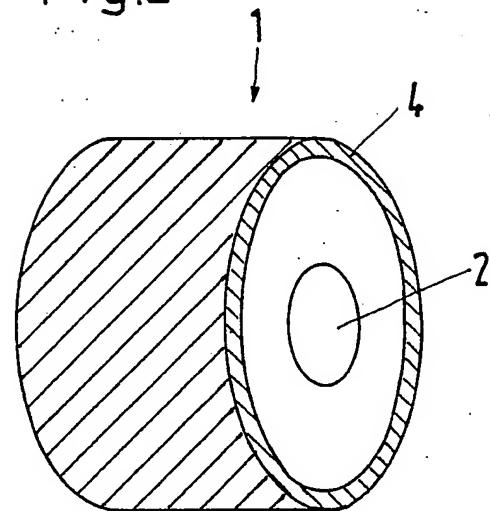


Fig. 3

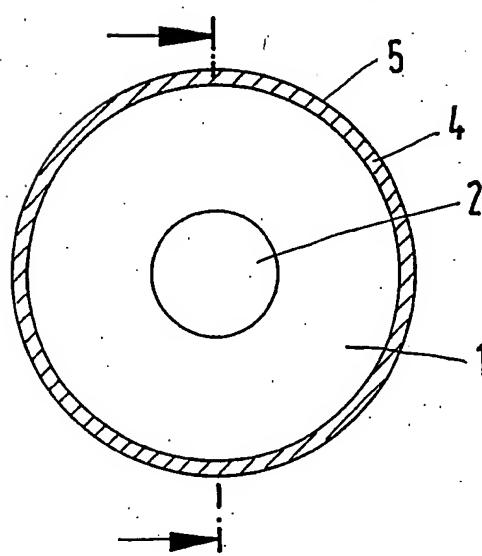
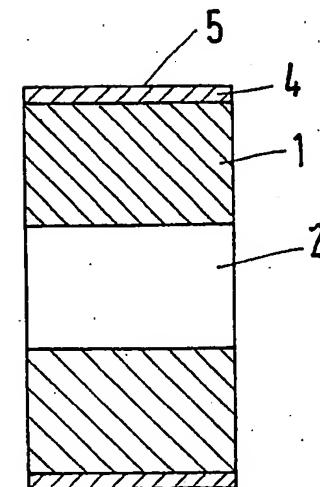


Fig. 4



Nummer:
Int. Cl. 6:
Offenlegungstag:

DE 195 31 861 A1
H 01 F 41/02
6. März 1997

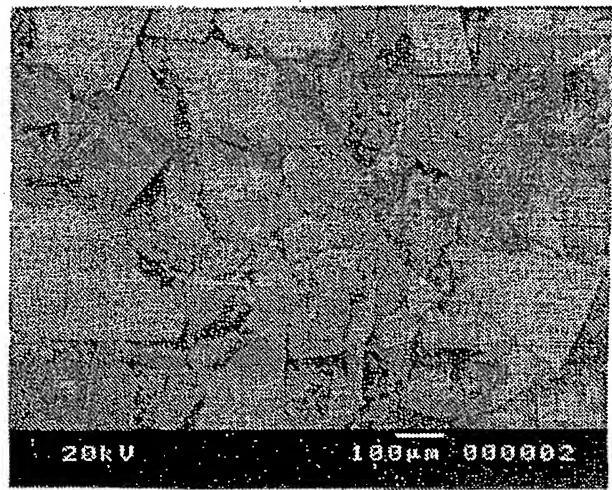


Fig. 5

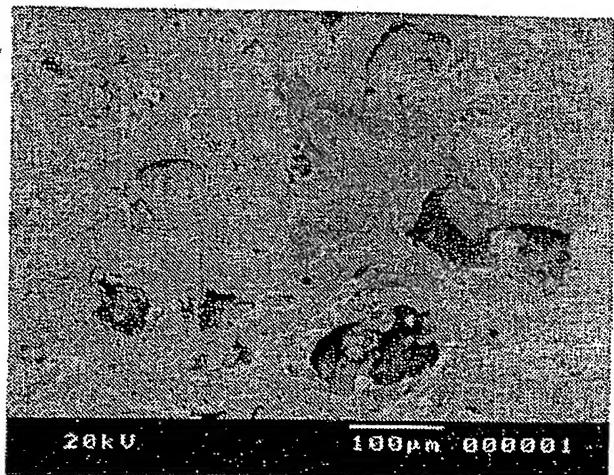


Fig. 6

BEST AVAILABLE COPY